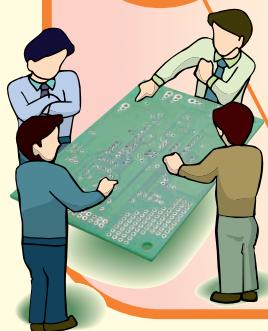
第2章

USB対応オーディオ入出力アダプタを
外形100×100mmの4層基板で設計する

小規模な回路で4層基板設計を体験する

佐々木雄二

ここでは，あらかじめ用意された回路と部品外形を利用し，4層基板の配線パターンを設計する．作業に掛かる時間はおよそ4～8時間である．百聞は一見にしかずということわざがあるように，実際に自分の目で確かめてみると，すんなりと配線パターン設計のセンスが身につく．　（編集部）

ここでは，あらかじめ用意された回路（**図1**）を元に，4層基板を作成します．読者のみなさんも本誌付属DVD-ROMに収録されたプリント基板設計ツール「CSiEDA」を使って，一緒に手を動かしながら4層基板設計の要点をマスタしてください．

それでは始めましょう．

ステップ1　回路図の分析

パターン設計を行う前に，設計する回路（**図1**）上の信号について，分析しておきます．これは回路設計者から事前に入手しておくべき情報です．なお，回路の機能や目的は第2章Appendixを参照してください．

図1中の❶は，IC1から見るとアナログ信号の入力です．LチャネルとRチャネルの分離に気を付けます．また，ディジタル回路系の信号から干渉を受けないように部品を配置する必要があります．干渉を受ける可能性がある場合は，グラウンド・ガードを施して干渉を受けにくくする必要があります．

❷はPMC2906（IC1）に内蔵するA-DコンバータやD-Aコンバータの電源電圧の半分の値を出力しています．これはアナログ入力段のOPアンプのプラス側に接続されています．この配線の引き回しにおいては，やはり極力ノイズを抑えなければなりません．LチャネルとRチャネルの干渉を抑えるためにIC1の14ピンの近くから分離してOPアンプまで配線します．

❸はIC1からのアナログ信号出力です．❶と同じように考えます．

❹はUSB端子への入出力です．＋5Vの振幅を持つディジタル信号です．アナログ配線に影響を及ぼさないように配慮します．

❺はOPアンプの電源です．ここではアナログ系の電源（＋3.3V）ということになります．

❻はUSBコネクタから取得している＋5Vの電源です．ディジタル系の電源として使用します．

ステップ2　CSiEDAのインストール

ソフトウェアをインストールしてみましょう[注1]．付属のDVD-ROMに収録されているcsiedaフォルダ内のSetup.exeを実行してください．実行すると**図2**の画面が表示されるので，「Install from CD」を選択してください．すると**図3**が表示されるので，左側の「Evaluation」ボタンを押してインストールを実行します．

インストール中に**図4**の画面が出て，CSiEDAをどこに

注1：付属のDVD-ROMには詳しい手順を記したinstall.pdf（\soft\csieda\体験版_manualの中）が収録されている．

KeyWord　CSiEDA，部品外形，マクロ，ネット・リスト，グリッド，基板外形，べたパターン，レイヤ，サーマル・ランド，バイパス・コンデンサ

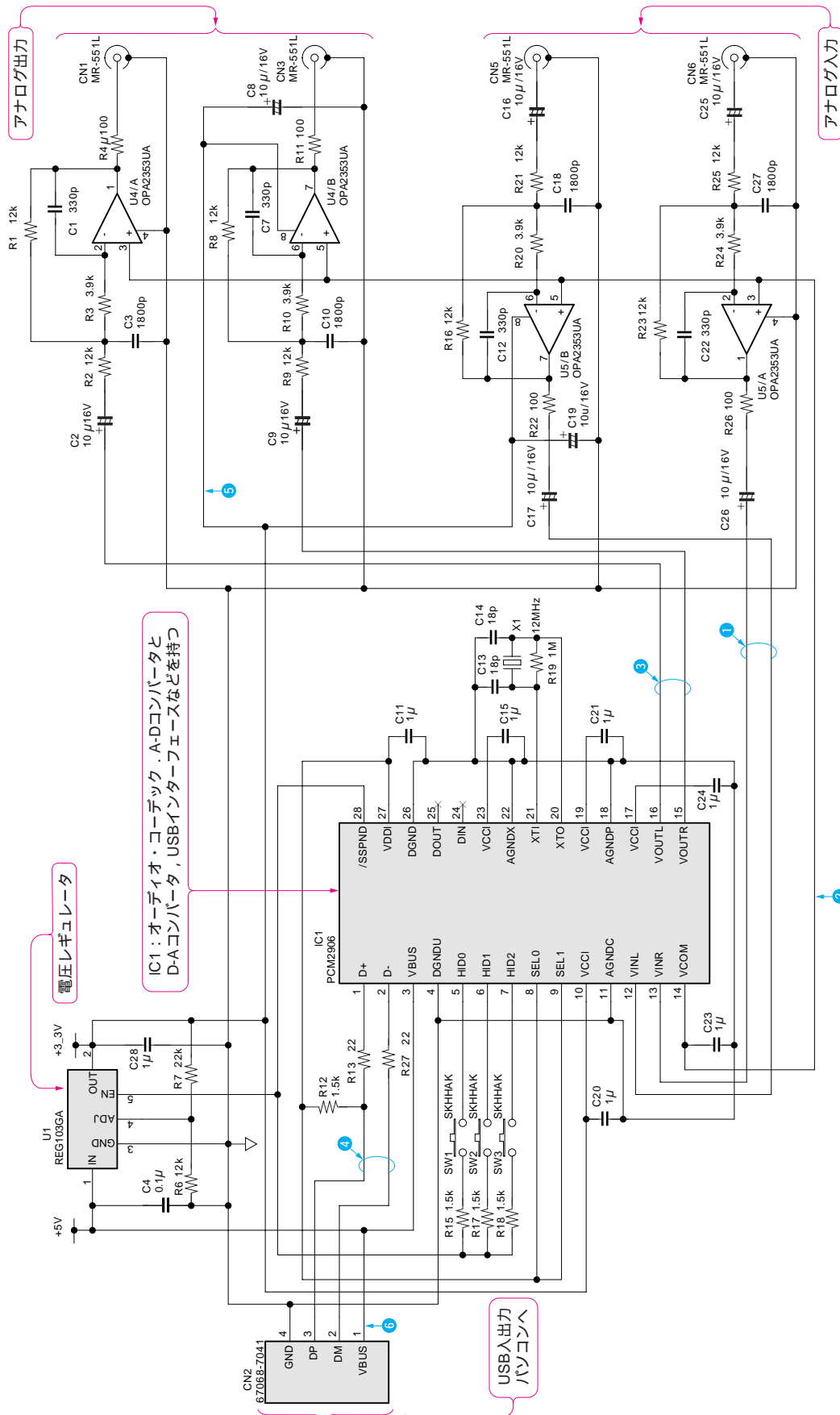



図1　USB対応オーディオ入出力アダプタの回路図

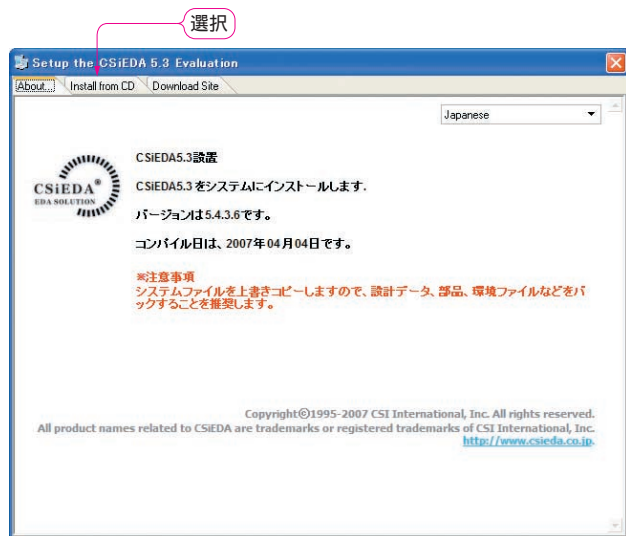



図2　付属のDVD-ROMに収録されているcsiedaのフォルダのセットアップを実行すると表示される画面

図3　インストール実行画面

図4　インストール先を選択する画面

インストールするか聞いてきます．通常はCドライブの下にインストールすると思います．

画面上で「インストールが終了しました。」と表示されたら，インストールは完了です．

では，ソフトウェアを起動してみましょう．Windowsの「スタート」→「プログラム・ファイル」の中に，CSiEDA5のプログラムがあります．その中のCSiEDA5を実行してください．プログラムを実行すると**図5**が表示されます．

まずはユーザの登録を行います．名前は何でもかまいません．自分が使用する名前を入力します．今回は“TEST”と入力して新規作成をしてみます．入力後「新規作成」ボタンを押してください．ユーザが登録されて画面にアイコンが作成されました（**図6**）．

では作成されたアイコンをクリックして，右側のログインボタンを押してCSiEDAを起動しましょう．今回は評価版を使っているので**図7**が表示されます．「はい」で起動してください．するとメイン・メニューの画面が立ち上がります（**図8**）．では，次から実際にCSiEDAを動かしていきましょう．

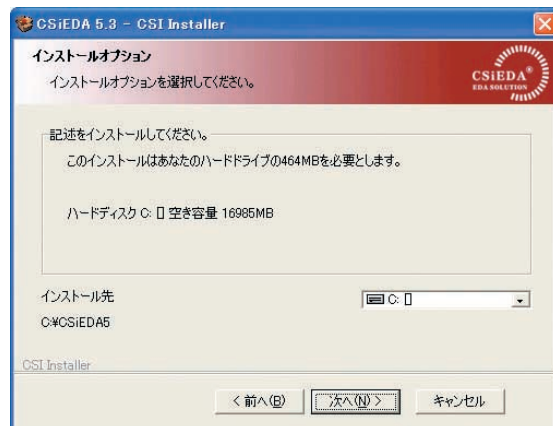



図5　ソフトウェア起動後に現れる画面

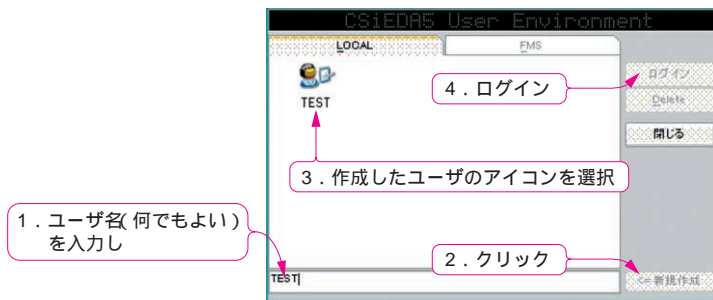



図6　ユーザ登録およびログイン

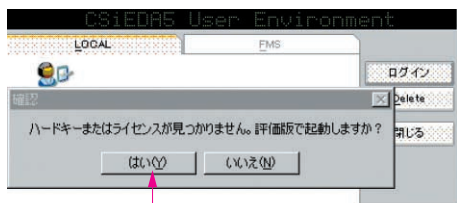



図7　評価版で起動する

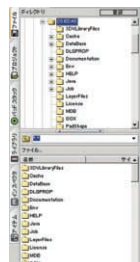



図8　立ち上がったメイン・メニュー

図9　ファイル選択ウィンドウ

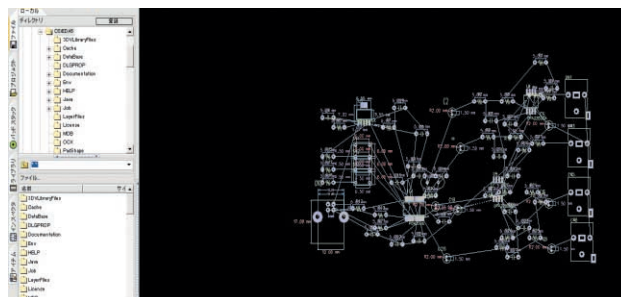



図10　表示されたtest-lay4-1.pcbfileの中の部品

図11　グリッドの設定

ステップ3　部品形状ライブラリの作成

本来は部品のデータシートから，使用する部品の形状を作成しなくてはなりませんが，今回は付属のDVD-ROMに収録されている部品外形(マクロ)を使います．

使用するファイルは，付属のDVD-ROMに収録されているフォルダ「data」(\articles\0706_a02\data)の中のtest-lay4-1.pcbfileです．このファイルには使用する部品とネット・リスト(結線情報)が既に入力されています．ではこのファイルを実行してみましょう．

「ファイル」→「開く」を選択してください．すると図9のようなファイル選択ウィンドウが出ます．そこから付属DVD-ROMの中のフォルダ「data」の中のtest-lay4-1.pcbfileを選択して「OK」ボタンを押してください．実行されてファイルが表示されます(図10)．これで準備ができました．

ステップ4　グリッドの設定

次に図面の単位とグリッドを設定します．ここで設定する単位とグリッドはこれ以降の部品の配置や配線に使用します．設定方法はメイン画面の左下側の二つの窓「G」と「S」で行います(図11)．milとmmの設定があるので任意の数値を選択します．設定で「G」は目安になる数値になります．「S」は実際の引き込みグリッドになります．

今回はGのグリッドを「2.54，2.54[mm]」，Sのグリッドを「0.635，0.635[mm]」で部品を置いていきます．細かく動かしたい場合はさらに小さいグリッドを選択します．

ステップ5　基板外形の作成

部品を載せる基板の外形を作成します．本来なら基板の大きさ(基板外形)は設計する前に決まっていることが多い

のですが，試作基板では作業性が優先されるので回路規模によって決定します．今回は，100mm×100mmの基板外形にしてみます．

先ほど設定したグリッドをGを「1.0，1.0［mm］」，Sを「1.0，1.0［mm］」にしておくと便利です．

操作方法は，メニューの「作図」→「基板外形」→「ライン」を選択して外形線を書きます．画面の左下側に丸に十字のマークがあります（図12）．そのマークがこの基板の原点（0，0）になっています．その点を基準にして外形線を描いていきます．右回りでも左回りでもかまいません．マウスのスクロール・ボタンを回すと，画面が拡大縮小するので見やすい大きさまで調整します．

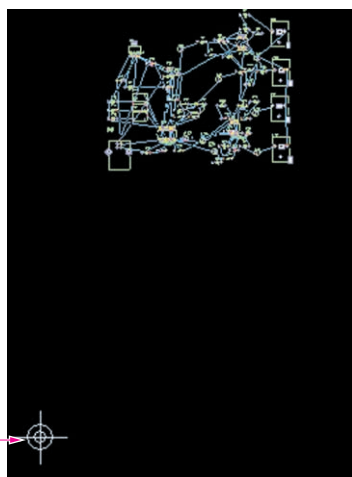



図12 この基板の原点

拡大していくと白い点が見えてきます．これが先ほど設定したグリッドになります．画面右下側に座標が出ています，カーソルを動かすと数値が変化するので，その部分でも確認できます．基準点にカーソルを合わせるとx＝0，y＝0になるはずです．

まず，（0，0）の座標（丸に十字のマークの部分）にカーソルを持っていき，マウスのスクロール・ボタンを動かして拡大してください．その部分で左ボタン押し，始点とします．画面を縮小してマウスを右側に移動していきます．カーソルにラインがついてきているのが分かります．次に右下の座標を見て（100，0）あたりまでカーソルを移動します．その座標の近くまで動かしたら，スクロール・ボタンで拡大していきます．画面を左右上下に動かしたい場合はマウスの右ボタンを押しながらマウスを動かしてください．

図14 取り付け穴の設定画面

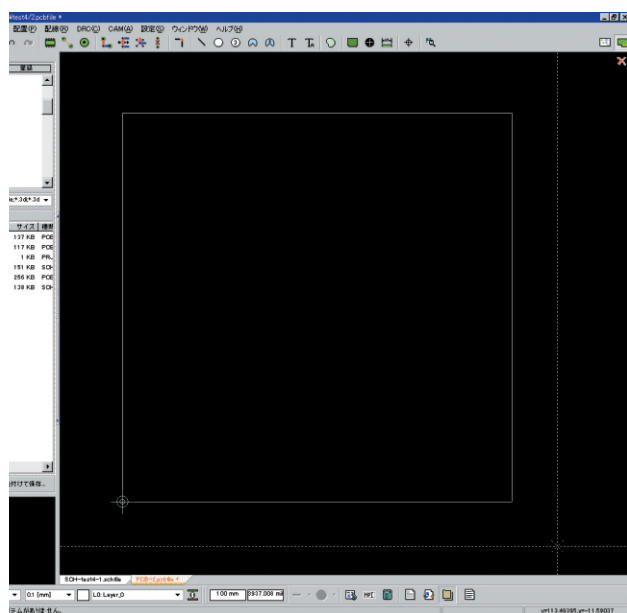



図13 入力した基板外形

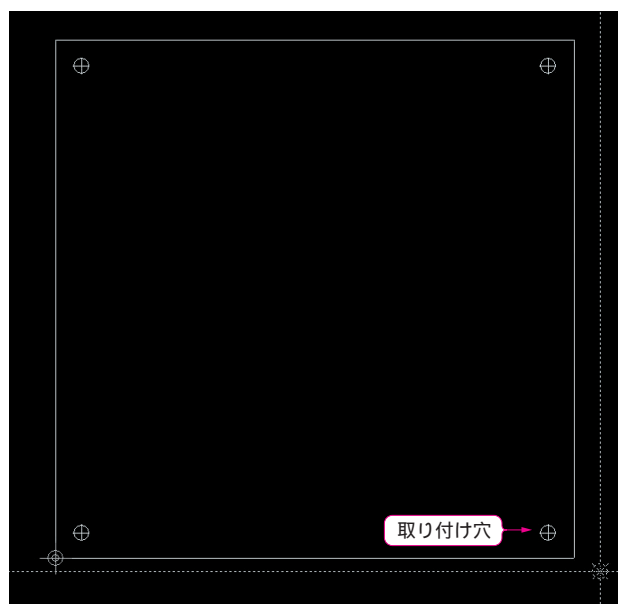



図15 基板上に取り付け穴を配置したようす

おおよそ(100，0)の座標にカーソルが来たら，左ボタンで点を追加します．この方法で座標(100，100)と(0，100)の点を作っていきます．点の追加ができたら最後に(0，0)の座標に戻ってきます．(0，0)の位置にカーソルを合わせダブル・クリックすると作図が完了します．図13のような基板外形を描けます．

続いて基板の四隅に取り付け穴を入力していきます．作成した基板を固定する穴として，あると便利なものです．取り付け穴の作成方法は，メニューの「作図」→「取り付け穴」を選択します．選択すると図14の画面が現れます．そこに取り付け穴の大きさ(直径)を入力します．今回は直径3.2mmの取り付け穴を指定してみます．一番上の「直径値」に3.2と入力してください．次に，下の線幅欄は画面に表示される線の幅になります．線幅は0.1と入力してください．

次に単位はmmにしてください．一番下の「メッキあり」の欄はチェックを入れないでください．[OK]ボタンで抜けるとカーソルに丸印が付いてきます．これが取り付け穴です．先ほど基板外形を入力したような手順で，基板外形の内側5mmの所に配置します(図15)．

ステップ6　部品配置前の準備

部品を配置する前にいくつかの準備をしておきます．まず，グリッドの設定です．ステップ4で設定したグリッドを，ステップ5で変更したので，グリッドGを「2.54，2.54[mm]」，Sを「0.635，0.635[mm]」に設定し直します．

今，ネット・リストはすべて水色の表示になっていると思います．これではどの線がグラウンドか電源かが分からないので，信号線と電源，グラウンドを視覚的に区別するためネットを色分けします．「設定」→「ネット」→「ネット設定」を選択し(図16)，電源およびグラウンドのネットを選択し，色を変更します．

ネット設定の画面に入ると，左側に今回使用するネット・リストの一覧が表示されます(図17)．その中からまずはグラウンドを選択して右側の表示色を変更します．

続いて+5V，+3.3Vの表示色を変更します．今回は，グラウンドを青，+5Vを赤，+3.3Vを紫に変更しました．すべて変更して画面に戻ると，設定したネット・リストの色が変わっていることが分かります(図18)．

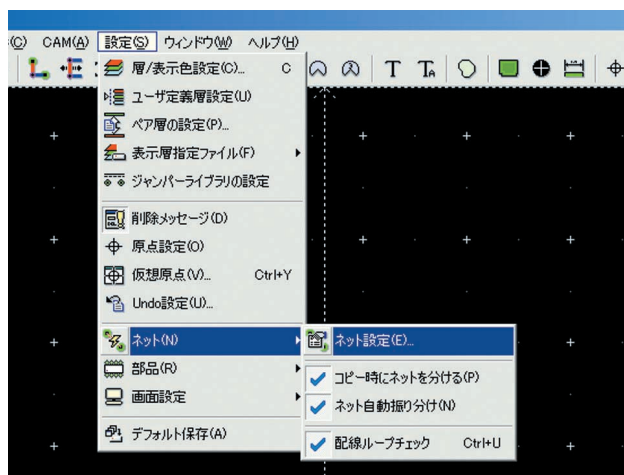



図16　ネット設定を選択

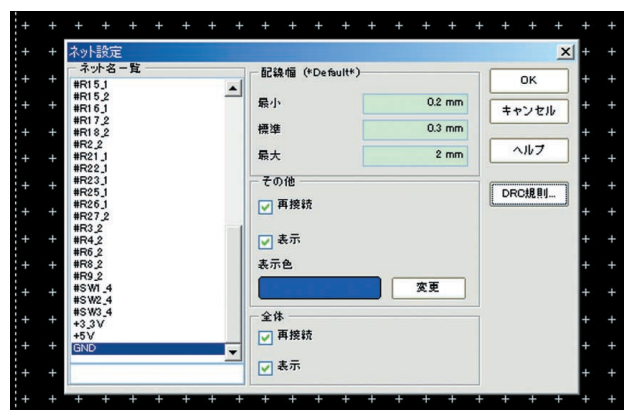



図17　ネットごとの色を指定

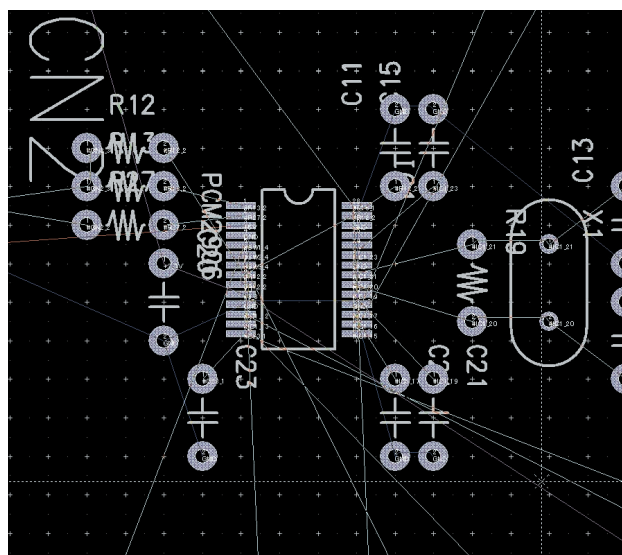



図18　ネットの色が変わった

ステップ7　部品配置

一通りの準備ができました．いよいよ部品の配置を行います．

● コネクタの配置

まず始めにコネクタを配置します．コネクタは基板とほかの基板をつなぐ信号の出入り口になりますから，基板の外周に配置します．そこから基板内部へ部品を配置していくと進めやすいでしょう．

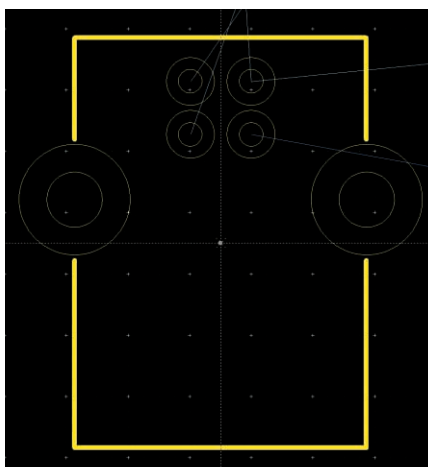



図19　黄色くなり部品が選択されたことを示す

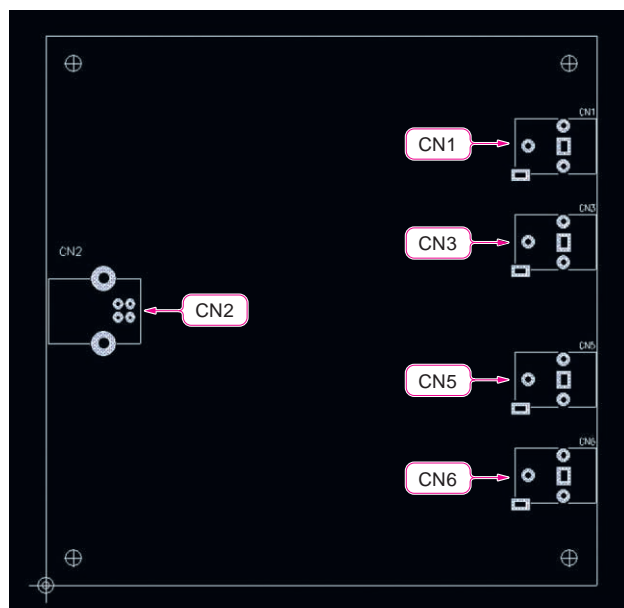



図20　コネクタを配置

見やすくするためネットを非表示にしてある．通常はこの非表示設定をする必要はない．

部品の移動の方法は，部品を左クリックで選択します．すると，選択された部品が黄色くなり，選択されたことを示します（図19）．さらに，その部品の中央にカーソルを移動していくと，十字の方向キーが現れます．十字の方向キーが出た状態でマウスの左ボタンを押しながらマウスを移動すると，部品の色が白く変わり部品が動き出します．部品を移動したい位置まで持っていって左ボタンを押すと，部品が配置されます．

配置の角度を変更する場合は，部品を移動中にマウスの右ボタンを押すと，プルダウン・メニューが出るので角度の変更をします．

まずはUSBコネクタ（CN2）を基板の左側へ配置します．このコネクタはディジタル系のコネクタになるので，アナログのコネクタ（CN1，CN3，CN5，CN6）はCN2と反対側へ配置するとアナログ/ディジタルの分離を考えやすくなります（図20）．

● USBコネクタ周辺

次にそのほかの部品配置を行っていきます．考え方は各回路のブロックをコンパクトにまとめて作り，ブロックをつないでいく方法です．まずUSBコネクタ（CN2）のブロックを配置します．回路図を見ながら，CN2からIC1までのブロックをコネクタの近辺に移動し，最短でつながるような配置を考えて置いていきます．最初はコネクタの周りに関連する部品を集めてきてから，少しずつ動かして，ネットがスムーズにつながるように調整します（図21）．

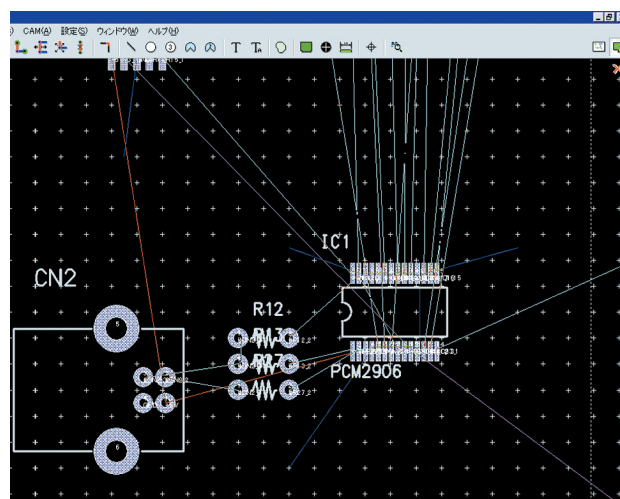



図21　USBコネクタ周辺の部品を配置

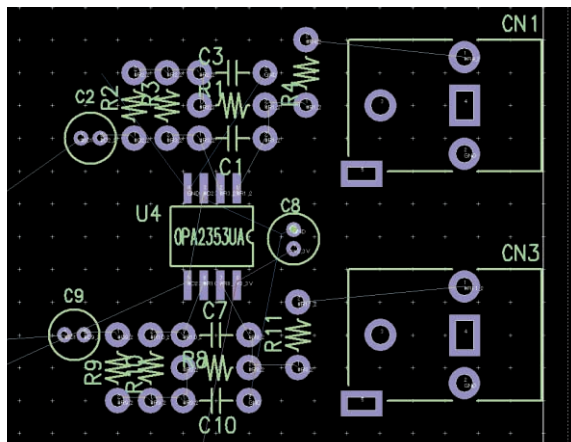



図22　アナログ出力回路の部品を配置

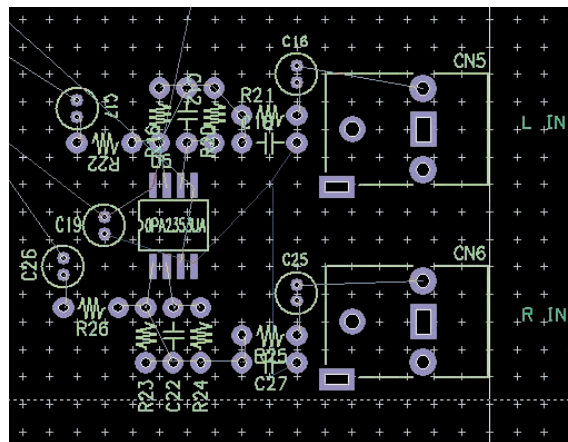



図23　アナログ入力回路の部品を配置

● アナログ出力回路

アナログのコネクタのブロックを配置してみましょう．入力と出力があるので混在しないようにブロックにしていきます．出力回路のブロックを，コネクタの周囲に作成していきます．注意点はICのバイパス・コンデンサをできるだけ近くに配置することです（図22）．

● アナログ入力回路

同じように入力回路もブロック化してみましょう（図23）．注意点は同じです．これでアナログの入出力回路のブロックができ上がりました．

● オーディオ・コーデック周辺

続いてIC1の周辺回路を配置しましょう．ここでの注意点は，先の回路と同じようにバイパス・コンデンサをできるだけICの近くに配置することです．また，IC1の14ピンにつながるコンデンサも，できるだけICの近くに配置します．クロックも外部から取得しているので，できるだけコンパクトにして近くに配置します（図24）．

● 電源回路

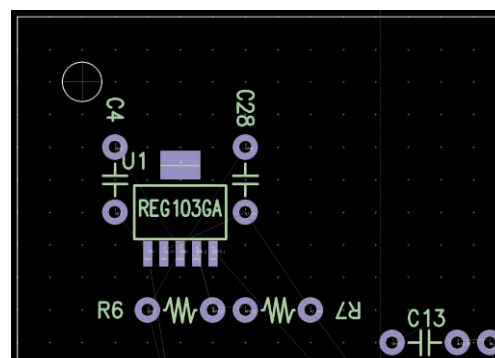
次に電源のブロックを作っていきます．U1とその周辺部品をブロック化していきます．入力と出力周辺に十分な配線パターンを引けるように，余裕を持って配置します．配置場所はUSBコネクタ（CN2）の上あたりにします．理由は，＋5VはUSBコネクタから入力されて基板内に＋3.3Vを供給するため，入力側にコンパクトにまとめたいためです（図25）．

● 切り替えスイッチ

切り替えスイッチ類のブロックは，操作のしやすい場所

図24　オーディオ・コーデック周辺の部品を配置

図25　電源周りの部品を配置

2

にまとめて配置します．今回の基板はIC1の下側が開いているので，そこに配置します．

これですべてのブロックができ上がりました．でき上がったブロックどうしがうまくつながるように，部品の向きや位置を調整して部品の配置を完成します．

ここでのポイントは，この基板は4層板ですから，電源やグラウンドの配線が部品面，はんだ面には基本的には必要ないため，電源やグラウンドの配線を考えなくてよいことです．言い換えると，部品どうしを近くに配置できることになります(図26)．ここまでの作業を終えたファイルtest-lay4-2.pcbfileもDVD-ROMに収録されています．

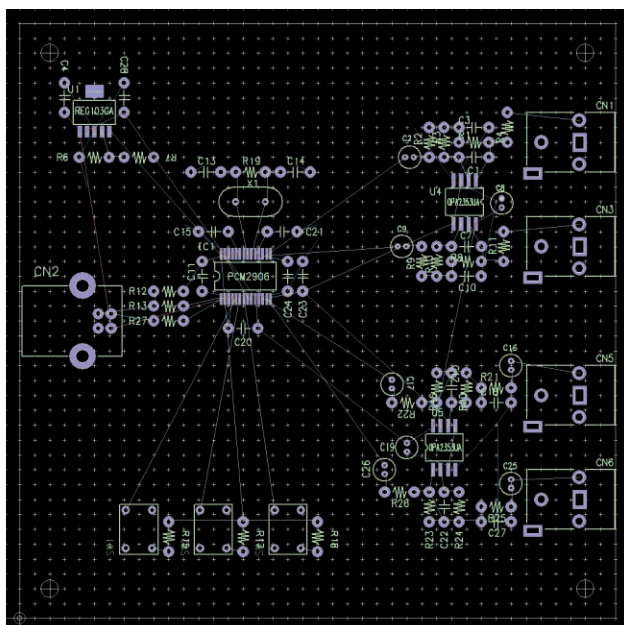



図26　これで部品配置が完了

L1: Top <部品面>
L2: Layer_2
L3: Layer_3
L4: Bottom <半田面>
L5: Layer_5
L6: Solder Mask Top <部品面
L7: Solder Mask Bot <半田面
L8: Assy Pos Top
L9: Assy Pos Bot
L10: Metal Mask Top <部品面.
L11: Metal Mask Bot <半田面.
L12: Layer_12
L13: Layer_13
L14: Unknown Layer
L15: Unknown Layer
L16: Unknown Layer
L17: Board
L18: Mark
L19: Dim
L20: Layer_20
L1: Top <部品面>

図27
レイヤ2を選択

ステップ8　電源，グラウンドの配線

内層の電源・グラウンドのべたパターンを作成します．最初に大まかなエリア分けを行って，最終的に調整する進め方が良いと思います．今回の回路は，グラウンドは1種類で，電源は2種類あります．最近の部品は多種の電源を使用する場合が多くなってきているので，先に電源の大まかな分割をしてエリアを確保することで，後の作業をスムーズに進められます．

● グラウンドのべたパターンを配線

まず，グラウンドの内層べたを作成しましょう．画面中央の一番下に「L1:Top< 部品面>」の表示があります．これは入力層といって，べたパターンや配線をどの層にするかを示しています．今までの作業では特に必要がありませんでしたが，この先はどこの層に何を配線するかを意識する必要があります．

今回製作する4層板は，L1が部品面，L2がグラウンド面，L3が電源面，L4がはんだ面とします．グラウンド面はL2になるので「L1:Top< 部品面>」の表示の右側にある三角ボタンを押します．リストが出てくるのでその中の「L2:Layer_2」を選択します(図27)．これでL2層の入力状態になりました．ではべたパターンを配線していきましょう．「作図」→「ベタ」から内層のべた面を作図します(図28)．

作成方法は，外形線を入力したときと同じ方法で点を追加します．このときに外形よりも内側に(1mm以上)べた

図28
「作図」→「ベタ」から内層のべた面を作図

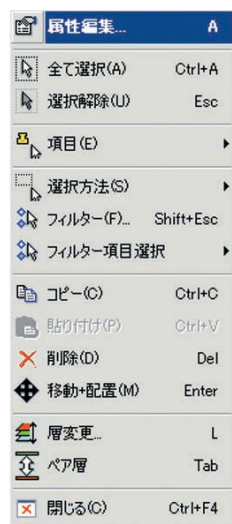



図29 べたパターンのいずれかを右クリックしてプルダウン・メニューを出す

図30 べたパターンの属性を設定

図31 内層の接続チェックを設定する画面

図32 出来上がったグラウンド層

を作ってください．基板外形と同じサイズのべたを描いてしまうと，基板作成時に基板の端面から銅はくが出てきてしまい，短絡する恐れがあります．まずは，グリッドGを「1，1[mm]」，Sを「1，1[mm]」に変更します．原点の部分を拡大して基板外形より内側の1mm(1グリッド目)からスタートします．基板の内側を1周して元に戻ってきたら，スタートした点に左ダブル・クリックで始点と終点を合わせます．すると，画面が青く塗りつぶされました．これがべた面です．べた面ができましたがこのままではただの銅はくです．L2層はグラウンド面にしたいので，このべたに信号名を付けてグラウンドのべたにします．べたを書いた状態ならまだコマンドから抜けていないので，[ESC]ボタンでコマンドから抜けます．

次に，作成したべたパターンに信号名を付けます．作成したべたパターンを選択します(べたのどこでもOK)．右クリックしてプルダウン・メニューを出します(**図29**)．その中の属性編集を選択すると，べたパターンの属性が表示されます(**図30**)．

図30において，べた属性のリスト(一番上のネット名の右のアイコン)を開いて，「GND」を選択します．なお，既にGNDとなっている場合は何もしません．

次に作業層を選択します，L2:Layer_2になっていることを確認してください．その下のタイプは，右側のアイコンから「内層べた」を選択して，「OK」で抜けてください．**図30**一番右上の「OK」ボタンを押すと，**図31**の画面が出て，内層の接続チェックを設定できます．ここはチェック・ボタンを押してください．これで4層基板の2層目はグラウ

ンド層になりました(図32).

CN2の4ピンはグラウンドになっているので画面を拡大してみて見てください(図33).4ピンの外側に円が切れた状態になっています.これがサーマル・ランドになります.サーマル・ランドとは,部品をべた面に直接接続すると,部品をはんだ付けする際に熱を奪われて,はんだ付けができなくなるのを防ぐランド形状のことです.

● 電源のべたパターンを配線

続いて電源のべたも作成します.入力層を「L3:Layer3」にします.入力方法はグラウンドべたと同様です.今回,電源は2種類ありますから,べたパターンも二つに分けます.極力,使用する電源の中に部品が入るように分割します.まずは+5Vから作成しましょう.先にネットを色分けしたので,そのネットの色を目印に分割していきます.

このべたも同じように属性変更で+5Vにしていきます(図34).

残りの面は+3.3Vのべた面になります,この面に沿うように基板全体をべたにしていきます.このとき+5Vのべたからは1mm以上離してべたを作ります(図35).これで内層の電源,グラウンドの作成ができました.

図33　サーマル・ランド

ステップ9　部品どうしを配線

ここからは部品間の配線を行います.配線はL1の部品面をL4のはんだ面に配線します.先ほど作ったL2のグラウンドとL3の電源の層は邪魔になりますから,とりあえず不可視にしておきましょう.層の可視,不可視は,「設定」→「層/表示色設定」で行います(図36).実行すると図37の画面が出ます.左側に層の一覧が表示されています.さらにその左側のチェック・ボックスで,L2とL3のチェックをはずして「OK」ボタンを押してください.画面から先ほど作ったべたが消えています.この状態で配線を始めます.

入力層を「L1:Top＜部品面＞」にします.「配線」→「マニュアル配線」で配線をしていきます.まず最初に配線するものは,各ICの電源とグラウンドです.電源とグラウンドがしっかりしていなければICは正常に機能しません.バイパス・コンデンサを通した電源をICの端子につなぐことが理想です.すべてのケースにおいて,このような形にすることは不可能ですが,できるだけ努力します(図38).

図34　レイヤ3で電源(+5V)のべた面を作図

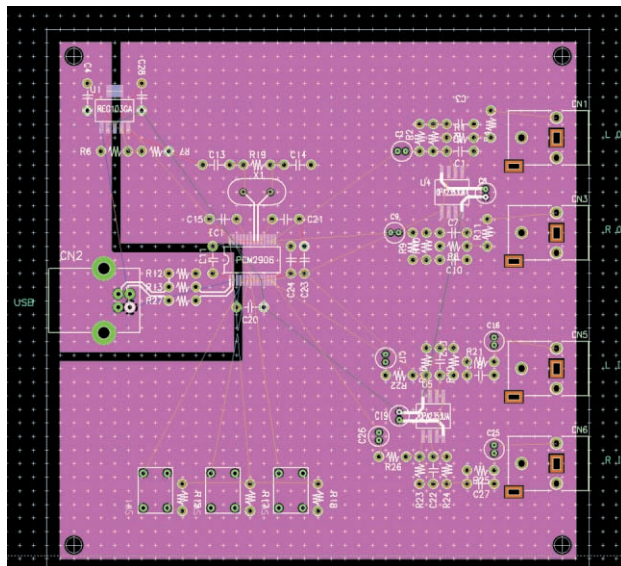



図35　電源(+3.3V)のべた面も作図

部品の端子にカーソルを持っていき左クリックすると結線が始まります．ネットが示す先の端子に接続すると結線が完了します．はんだ面で線を引きたいときは，入力層の右側のアイコン（図39）を押すと，はんだ面に切り替わります．または，マウスの右ボタンを押すと，「層変更」の項が表示されます．この方法でも部品面とはんだ面の切り替えができます．

続いて重要信号線の配線を行います．先に上げたUSB（CN2）からの配線，クロックの配線，IC1の14ピンからの配線，アナログ・ブロックへの配線が該当します．最短で，しかも，ほかの回路との干渉をしないように注意しながら，配線を行います．

- USB（CN2）の配線（図40）：この配線は差動信号のため，できるだけペアで配線します．
- クロックの配線（図41）：この配線は極力短く，また，ほかの配線と交差しないよう配線します．
- IC1の14ピンの配線（図42）：この配線はIC1の端子からできるだけ近くで分離して，OPアンプまで配線します．
- アナログ・ブロックへの配線（図43）：この配線は，ほかの回路と干渉しないように配線します．

そのほかの配線も行いましょう．アナログ・ブロック内

図36 層の可視/不可視の設定

図37 グラウンド層と電源層のチェックを外す

図38 ICの近くにコンデンサを配置したようす

図39 入力する層を切り替えるアイコン

図40 USB信号線の配線

図41　クロックの配線

図42　IC1の14ピンの配線
赤いラインはL4の配線

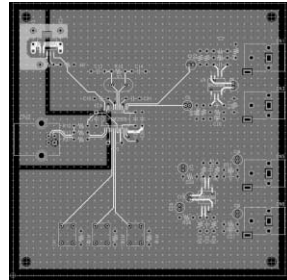
図43　アナログ・ブロックへの配線
赤いラインはL4の配線

図44
アナログ・ブロック内の配線
赤いラインはL4の配線

図45　電源IC周りの配線

図46　すべての配線が完了
赤いラインはL4の配線

図47
グラウンド層のチェック

図48
電源層のチェック

の配線は，できるだけ太く短くします(**図44**)．電源は太くしっかり配線します(**図45**)．これで配線が完了しました(**図46**)．

内層はどうでしょうか．サーマル・ランドが切れている所はないですか．ふさがっている所や分割線上にサーマル・ランドがないかチェックしましょう．まずはグラウンド層(**図47**)．続いて電源層もチェックします(**図48**)．これで4層基板の設計が完了しました．

＊　　＊

本来であればこの後，DRC(デザイン・ルール・チェック)を行います．「DRC」→「DRCチェック(全体)」を選択し，出てきたDRCチェック項目設定画面右上の[OK]ボタンをクリックしてください．

このDRCは，部品のランドおよびパッド，配線，スルー・ホールのクリアランスのチェックを行います．設定したクリアランスが保(たも)てていない場合にはエラーを出し，ルールにあっていない旨を表示します．

指定した配線幅や指定した長さが違っている場合のチェックもできます．この設定は個々のネットでもできます．指定のないものはすべて同一の設定でチェックされます．このエラー・チェックを実行し，エラーがなくなる(許容できる)まで修正します．ここまでの作業を終えたファイルtest-lay4-3.pcbfileを付属DVD-ROMに収録しておきます．

続いてシルクの表示がある場合は，シルク文字の移動，追加を行います．完了したら基板製作用のデータ(ガーバ・データ)を作成して，基板製作メーカへデータを渡します．

ささき・ゆうじ
(株)ケイ・オール

<筆者プロフィール>

佐々木雄二．ケイ・オール 基板設計課 ボードデザイングループ．ケイ・オールは試作・開発の回路設計からプリント基板設計，製作，部品実装を一貫して行います．また，入手難の部品や少量の部品購入も行っております．特に，BGAやCSPのリボール，リワーク，改造，ジャンパ配線などの特殊作業は数多くの実績があります．鉛フリーの実装に関してもいち早く取り組み，その実績はプリント基板設計へと反映されております．さらに，2007年1月よりRoHS専用の実装基板のラインを本社ラインとは別に完備いたしました．RoHSに対応していない基板のRoHSへの対応サポートを行っており，回路から部品調達，基板の設計，製作を行いRoHS専用のラインで製品化いたします．詳しくは当社Webページ(www.kei-all.co.jp)あるいは営業(042-370-3550)までご連絡ください．

コラム　CSiEDA ver5.3 体験版の機能制限について

付属DVD-ROMに収録されているCSiEDA ver5.3体験版には，回路図設計ツールであるWinSchematic，プリント基板設計ツールであるWinPCB，PCBデータを3D表示するWin3DView，ガーバ・データを編集・表示するツールであるWinGerberが含まれています．これらの機能制限について説明します．

● WinSchematic

図面上に257ピン以上配置されている場合は，図面保存，プロジェクト保存，ネット・リスト出力など，保存にかかわる実行ができないシステムとなっています．

● WinPCBのピン数制限

図面上に257ピン以上配置されている場合は，図面保存，プロジェクト保存，ネット・リスト出力，ガーバ出力など，保存にかかわる実行ができないシステムとなっています(シングル・パッド，強化用ビア含む)．なお，配線途中のビアは制限ピンには含まれません．

● Win3DViewの部品ライブラリ点数制限

部品ライブラリが51点以上配置されているデータでは，プレビューすることができかねます．

なお，CSiEDAに関する問い合わせは，シーエスアイジャパンまでお願いします．

✉ support@csieda.co.jp